

应用遥感技术研究土地利用/土地覆盖变化及其对 土壤侵蚀过程的影响^{*} ——以印度北部 Pali Gad 山地流域为例

李巧宏¹, 许建初^{1**}, P. K. JOSHI², Nikhil LELE²

(1 中国科学院昆明植物研究所, 云南 昆明 650204; 2 印度遥感研究所, 台拉登 印度 248001)

摘要: 应用遥感技术评估了印度北部 Pali Gad 山地流域过去几十年里土地利用/土地覆盖变化及其造成的土壤侵蚀程度, 并基于摩根参数模型 (Morgan Parametric Model) 的方法来测定土壤的侵蚀程度; 结果表明, 由于不同的坡向受到太阳光照的不同可以引起土地覆盖的变迁; 海拔和坡度已不再是阻碍人们获取自然资源的因素, 人们的活动范围正转移到更高的海拔和更陡峭的坡度; 揭示了土地利用/土地覆盖变化对土壤侵蚀进程有着直接的影响。

关键词: 遥感; 地理信息系统; 喜马拉雅西部; 土地利用/土地覆盖变化; 土壤侵蚀

中图分类号: Q 948

文献标识码: A

文章编号: 0253-2700(2006)02-175-08

Applying Remote Sensing to Assessing Land Use and Land Cover Change, and Its Impact on Soil Erosion: Case of Pali Gad Watershed, Northern India

LI Qiao-Hong¹, XU Jian-Chu^{1**}, P. K. JOSHI², Nikhil LELE²

(1 Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China;

2 Indian Institute of Remote Sensing (NRSA), Dehradun 248001, India)

Abstract: Mountain ecosystems cover about 24% of the earth's surface, which provides vital environmental goods and services. Twelve per cent (or about 720 million) of the global human population live in mountains. The western Himalaya is one of the most populated areas in the world. The long history of human activities has significantly contributed to land use and land cover changes (LUCC), which further impacts on soil erosion and decreasing of land productivity. This paper allied remote sensing for assessing the LUCC and its impact on the soil erosion processes for past two decades in Pali Gad watershed, northern regions. A processed based Morgan Parametric Model has been used to determine the rate of erosion. The results show that the LUCC dynamics much depend on the aspect. The altitude and slope is no more a constraint for access to nature resources. The human activities have shifted towards higher altitudes and steeper slopes, which eventually causes soil erosion in the mountain regions.

Key words: Geographic information system; Himalaya; Land use and land cover change; Remote sensing; Soil erosion

在全球环境变化的研究中, 土地利用和土地覆盖的动态被认为是一个关键的研究课题。占地球表面 24% 的山地生态系统为人类提供重要的

生产和生态服务功能, 山地为人类提供 80% 的淡水供应。占地球表面积 3% 的高山生态系统生存着 1 万余种高等植物, 占全球高等植物种类的

* 基金项目: 中科院与亚太地区空间科学教育中心 (CSSTEAP) 联合资助

** 通讯作者: Author for correspondence. E-mail: jxu@icimod.org.cn

收稿日期: 2005-09-10, 2005-12-01 接受发表

作者简介: 李巧宏 (1978-) 女, 硕士研究生, 主要从事民族植物学及遥感和地理信息系统在自然资源管理方面的应用的研究。

4% (Kimer, 1995)。超过 12%、约 7.2 亿的人口生活在山区, 直接依靠当地的生物资源生存和发展。但是山地又是一个脆弱的生态系统, 是自然灾害多发地区。除自然因素如地震外, 土地利用和土地覆盖的变化是造成山地流域中的水土冲刷和侵蚀的重要原因。

喜马拉雅山脉是全球最典型的山地生态系统, 复杂的生境孕育着丰富的生物多样性。这个地区几乎所有的能源需求都来源于森林 (Samant and Dhar, 1997)。土地利用是指“人类使用土地及其资源的方式和目的” (Meyer, 1995), 包括农业用地、采矿及伐木都是土地利用的例子; 土地覆盖是描述土地表面的物理状态, 如农田、山脉或森林 (Meyer, 1995)。土地利用和土地覆盖变化直接对世界范围内的生物多样性产生影响 (Sala 等, 2000); 也是引起局部区域乃至全球气候变化的原因之一 (Houghton 等, 1999); 同时是土壤退化的首要原因; 并且还改变生态系统, 影响整个生物圈对人类需求的支持能力 (Vitousek 等, 1997)。此外, 土地利用和土地覆盖的变化对很多地方及人对当地气候变迁、经济和社会政治动荡的承受程度起到部分的决定性作用 (Kasperson 等, 1995)。遥感技术一直被认为是一种收集遥远地区信息的高效而可行的工具, 在喜马拉雅地区, 从 80 年代中期开始使用该技术 (Singh 等, 1985; Tiwari 等, 1985), 其目的是为了识别景观土地利用模式 (Singh 等, 1984), 制图模拟 (Joshi 等, 2003) 以及变化探测 (Rathore 等, 1997; Joshi 等, 2004; Joshi and Gairola, 2004)。这已被很多人 (Anon., 1995; Ravan and Roy, 1995; Pant and Roy, 1995; Roy 等, 1993) 在印度的多种生态条件下所证实。从全球的情景看, 景观表征及植被研究方面的进展已证明了利用遥感数据并联系景观或植被属性的先进性。地理信息系统 (GIS) 综合了空间和非空间的数据, 这样有利于打开其在资源的综合分析以及发展决策支撑体系方面的应用。到目前为止, 运用遥感和地理信息系统来描述土地覆盖变迁、分析它与地形特征的关系以及它对土壤侵蚀过程的影响等方面的探讨还很有限。土地利用/土地覆盖变化 (LUCC) 与地形条件的关系及其对土壤侵蚀的影响对我们更好地了解气候变化对土地覆盖的影响

(反之亦然) 是非常有用的。本研究探讨了在过去 40 年中印度位于喜马拉雅西部的 Garhwal 山地景观中的土地利用/土地覆盖变化情况; 并使用修订过的 Morgan Morgan Finney (MMF) 模型来评估在空间领域内土壤的流失状况, 以期揭示土地利用和覆盖变化对土壤侵蚀进程的影响程度。

1 研究地区

研究地 Pali Gad 小流域位于印度北部喜马拉雅西部山脉脚下的乌特兰恰邦 (北纬 30°29' ~ 30°35', 东经 78°07' ~ 78°13'), 是印度亚姆娜河上游的一个分支流域 (图 1)。总面积约为 60 km², 海拔在 1 160~ 3 020m 之间, 流域内地形复杂、地势陡峭。气候属于亚热带与温带 (海拔高于 2 000 m) 之间, 年平均降雨量为 2 023 mm, 月平均温度在 6~ 19.8℃。一年中有 3 个明显的季节, 即雨季 (7~ 9 月)、冬季 (10~ 4 月) 和夏季 (4~ 6 月)。该区域植被类型主要为栎树林、松树林、喜马拉雅雪杉林或混交林。在海拔较高的地方分布着高山草甸, 灌木及草场多见于低海拔, 在多数南坡且坡度较低的地方覆盖有喜旱性植被,

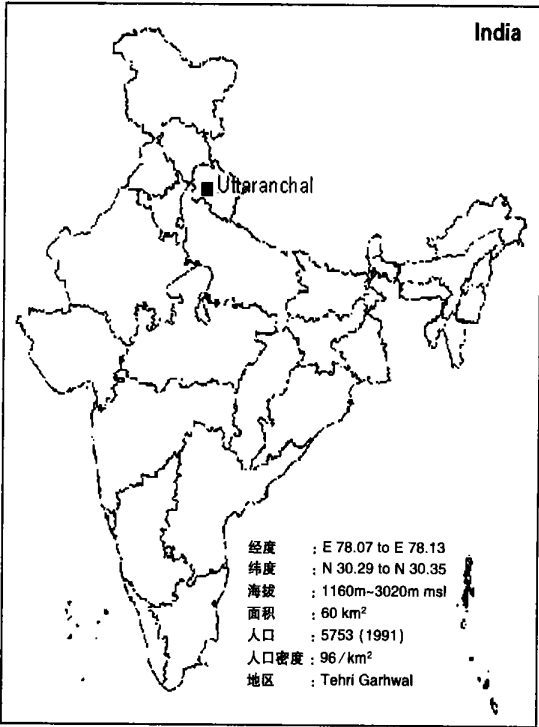


图 1 研究地区概况

Fig. 1 Location of study area

是一个以森林生态系统占主导的流域。人口增长以及养殖业的发展已使得该区域的植被遭受人为活动的严重干扰。由于生活在山地，当地人对山地生态系统中自然资源的依赖程度很高。据到户的调查显示，流域内平均每户每天的人均薪柴消耗量为 1.12 kg；为获取饲料而修剪的枝叶为 3.69 kg；从森林中采集的草料为 3.25 kg。流域内资源利用是以自给自足的山地农业为主，家庭养殖业为辅，长期以来形成地-牲口-森林及草场的资源利用模式。农作物主要有小麦、谷类、豆类、马铃薯及栗类等。农业是流域内大多数人的主要经济来源。1991 年统计的流域内人口总数为 5753，人口密度为 96 人/km²。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究中所使用的卫星数据和其他数据详细信息见表 1。

2.2 方法及步骤

- (1) 使用 ERDAS IMAGINE 8.6 对卫星数据进行预处理（辐射校正、几何校正以及影像融合等）；
- (2) 运用农村参与式评估（PRA）方法收集当地社

- 会经济数据；GPS 被用于土壤样点定位；
- (3) 影像的地理参考的建立、剪切和拼接在 ERDAS IMAGINE 8.6 中进行；
- (4) 在 ArcView GIS 3.2a 下对有地理参考影像的数字化及产生不同矢量层；
- (5) 基于所收集的地面真实数据，使用 ArcView GIS 3.2a 对卫星数据（1999 和 2004）和地形图（1963 和 1983）进行目视解译，得到土地利用/土地覆盖图；
- (6) 使用 Arc Info 建立矢量层的拓扑关系（Build and Clean）；
- (7) 使用叠加分析的方法得到土地利用/土地覆盖的时空变化情况；
- (8) 在 ERDAS IMAGINE 8.6 环境下产生数字高程模型（DEM），并衍生出坡度、坡向和海拔图；
- (9) 按世界粮农组织的标准，对坡度、海拔和坡向图进行重新编码（Nityanand and Kumar, 1989）；
- (10) 为了估测坡向在植被覆盖变化中的作用，坡向图被重新编码为 8 类，即北坡、东北坡、东坡、东南坡、南坡、西南坡、西坡和西北坡；
- (11) 在 ILWIS 3.0 Academic 下使用 MMF 模型对土壤侵蚀进行模拟（Morgan, 1996）；
- (12) 使用修订过的 Walkley-Black 方法对土壤有机碳进行估测（Walkley and Black, 1934）。

表 1 研究中使用的数据和材料

Table 1 Satellite data and ancillary data used

卫星数据						其他数据			
图件资料	轨道行	经过时间	波长 (μm)	空间分辨率 (m)	扫描宽度 (km)	印度国家测绘局 (SOI) 地形图	图幅号 (年)	勘测时间	比例尺
IRS-1D LISSIII	96/49	13-11-1999	0.52-0.59	23.5	141		53J/2	1963	1:50000
			0.62-0.68				53J/2	1983	1:50000
			0.77-0.86				53J/3	1983	1:50000
			1.55-1.70						
IRS-1D PAN	96/49	13-11-1999	0.5-0.75	5.8	70				
IRS-P6 LISSIII	96/49	23-02-2004	0.52-0.59	23.5	141				
			0.62-0.68						
			0.77-0.86						
			1.55-1.70						
IRS-P6 PAN	96/49	23-02-2004	0.5-0.75	5.8	70				

3 研究结果

3.1 土地利用/土地覆盖变化分析

3.1.1 1999~2004 5 年来的土地利用/覆盖变化

从卫星数据中我们识别出 11 种不同的土地利用/土地覆盖类型。表 2 描述了不同土地利用/土地覆盖类型的面积。各种土地利用/土地覆盖类型的描述是基于 Joshi 等以往在类似的喜马拉雅山地景观的调查结果而得到的（Joshi 等，2003, 2004; Joshi and Gairola, 2004）（图 2, 3）。

它们分别显示了 1999 年和 2004 年 Pali Gad 流域的土地利用/土地覆盖状况。

3.1.2 40 年来土地利用/土地覆盖的变化 1963 年和 1983 年的土地覆盖图是从印度测绘局（SOI）发行的地形图中获取的。它把土地覆盖描述为 3 种类型，即森林、农地和灌木。其中森林包括喜马拉雅雪杉密林、栎树密林、松林及混交林。喜马拉雅雪杉密林分布在海拔 1 800 m 以上，栎树林分布在海拔 2 200~ 3 000 m。1963~ 1983

年土地利用/覆盖类型的面积统计见表 3。表中把 1999 年和 2004 年的地类转换为 3 种土地覆盖类型即森林、灌丛和农地并与 1963 年和 1983 年进行比较。

表 2 土地利用/土地覆盖面积 (1999~2004 年)
Table 2 Area of land use/land cover (1999~2004)

土地利用/ 覆盖类型	1999 年		2004 年	
	面积 (km ²)	占总面积的 百分比 (%)	面积 (km ²)	占总面积的 百分比 (%)
喜马拉雅雪 杉密林	3.17	5.29	3.17	5.29
栎树密林	23.09	38.49	22.17	36.96
栎树疏林	7.40	12.34	7.58	12.64
松树密林	0.16	0.27	0.16	0.27
松树疏林	1.08	1.80	1.08	1.80
混交疏林	2.67	4.45	2.13	3.55
高山草甸	2.45	4.08	2.45	4.08
混农林	3.12	5.53	3.23	5.39
农地	4.66	7.77	5.12	8.53
灌丛	11.64	19.40	12.55	20.92
河岸	0.35	0.58	0.35	0.58
总面积	60	100	60	100

3.1.3 总体土地利用/土地覆盖变化分析 研究结果显示,在 1963~1983 年这二十年中土地覆盖状况发生了很大变化。在 60 km² 的总面积里,有 5.28 km² 发生了变化,转变为不同的覆盖类型。这也许是由于地图所提供的比例尺太粗糙,在不同的土地覆盖类型里会出现冗余或遗漏的错误。从表 3 中可以看出,森林和灌木的面积有轻微减少而农地却增加了,这是由于森林和灌木转化为农业用地。

在 1999 到 2004 年期间,总的变化面积大约是 3.01 km²。1999 时,在总面积 60 km² 中,有

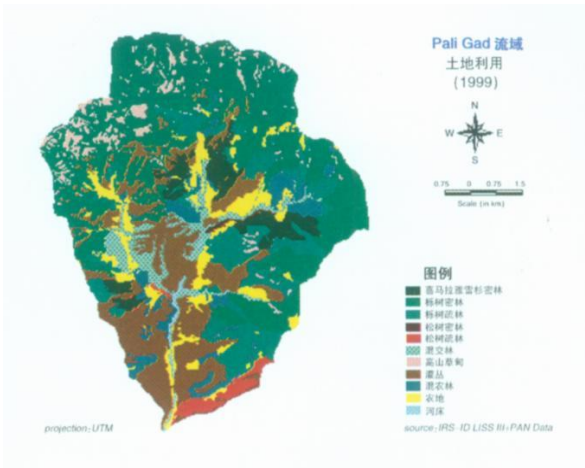


图 2 1999 年 Pali Gad 流域的土地利用图
Fig. 2 Land use map of Pali Gad watershed (1999)

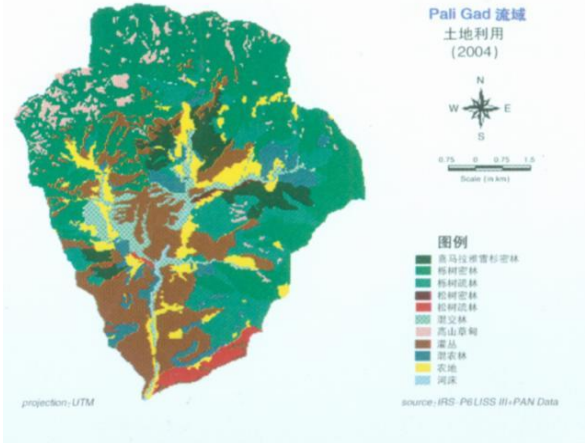


图 3 2004 年 Pali Gad 流域的土地利用图
Fig. 3 Land use map of Pali Gad watershed (2004)

表 3 土地利用/土地覆盖面积对照
Table 3 Area of land use/land cover

土地利用/ 覆盖类型	1963 年		1983 年		1999 年		2004 年	
	面积 (km ²)	占总面积的 百分比 (%)	面积 (km ²)	占总面积的 百分比 (%)	面积 (km ²)	占总面积的 百分比 (%)	面积 (km ²)	占总面积的 百分比 (%)
森林	38.47	64.11	37.72	62.86	37.57	62.61	36.29	60.48
灌木	12.69	21.14	10.80	18.00	11.64	19.40	12.55	20.91
农地	8.85	14.74	11.48	19.14	10.78	17.99	11.15	18.61
总面积	60	100	60	100	60	100	60	100

40.9 km² 是被森林所覆盖;而到了 2004 年,森林所覆盖的区域只有 39.53 km²。由于研究区域是栎树林和松林占主导地位,因此,这两种森林中发生的变化要比其他植被类型大。且变化多发生在密度较高的森林类型中,在 1999~2004 年期间导

致这种变化的主要原因是农业扩张,不可控制的对森林资源的掠夺而导致的退化。用作农业用地的总面积在 1999 年是 4.66 km²,而到 2004 年却增加到 5.12 km²,这是以森林覆盖的减少为代价的。同样,一些灌木也被转化为农业用地。薪柴和饲

料的获取是自然植被覆盖丧失的主要原因。栎树是这个区域饲料的主要来源，并在一定程度上用作薪柴。灌木总面积从1999年的11.64 km²增加到2004年的12.55 km²。另外，栎树密林和混交疏林从1999到2004年也呈现出减少的趋势。

3.2 LUCC与地形的关系

地形条件也是影响1963~1983年和1999~2004年两个时段森林覆盖变化的因素之一。我们从海拔、坡向和坡度3个方面来对土地利用/覆盖变化与地形条件的关系进行分析。

3.2.1 LUCC与海拔的关系 在影响土地覆盖变化的地形条件中，海拔的作用通过从重新编码数字高程模型并赋予不同的等级所获得的图中得到估测(Nityanand and Kumar, 1989)。在1963~1983年间，土地覆盖变化主要发生在900~1800 m的地带，而在分析1999~2004年的变化时，我们发现大多数的变化发生在海拔1800~2400 m的地方。这两个时段间出现了一个变化位移，这说明人类正向更高海拔的地方移动去获得他们所需的食物、饲料和薪柴，而这些地方正是森林覆盖仅存的地带。图4a显示了土地利用/覆盖变化与海拔的关系。

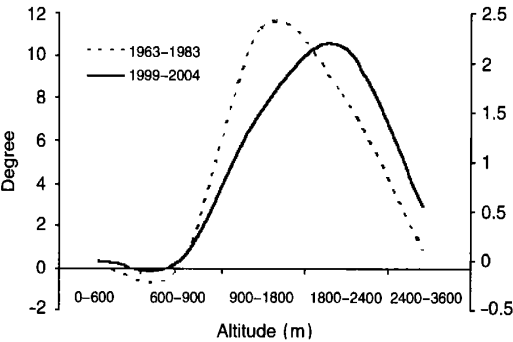


图4a LUCC与海拔的关系
Fig. 4a Relationship between LUCC and altitude
注：坝区(0~600 m)，低山(600~900 m)，中山(900~1800 m)，亚高山(1800~2400 m)，高寒山区(2400~3600 m)

3.2.2 LUCC与坡向的关系 坡向同样也是一个重要的地形特征，它影响着不同森林类型的分布与生产力。在1963~1983年间，坡向随西南、南及东南的变化要比其他坡向更明显，产生这种现象的原因在于西南坡、南坡和东南坡比其他坡向获得更多的太阳照射，因而这些坡向处在相对较温暖的地方，适宜进行农业及其他活动。因此，

人们更愿意到这些坡向的地方居住并进行他们的日常生产活动。相反，北坡、东北坡和西北坡受到太阳的光照相对较少，人类活动的影响最少甚至没有，仍然覆盖有大量的森林植被。在1999~2004年间，情况又发生了些变化，人类的活动不仅在南坡、西南坡和东南坡，而且出现在西北坡、东坡和北坡，这是因为人口的急剧增长人们不得不寻找更多更广阔的生存空间。图4b显示了土地利用/覆盖(LUCC)随坡向的变化关系。

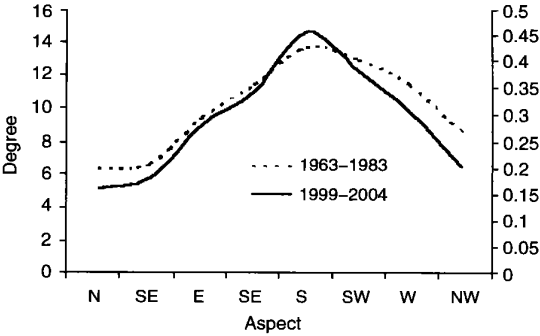


图4b LUCC与坡向的关系
Fig. 4b Relationship between LUCC and aspect
注：N—北，NE—东北，E—东，SE—东南，S—南，SW—西南，W—西，NW—西北

3.2.3 LUCC与坡度的关系 坡度影响人类对土地利用的方式。本研究坡度图等级是按世界粮农组织(FAO)的标准来划分。在分析土地利用/土地覆盖变化与坡度的变化关系时(图4c)，结果显示小于14%的坡度几乎没有发生任何变化，原因是这些地方已经处于变化饱和的状态。在这

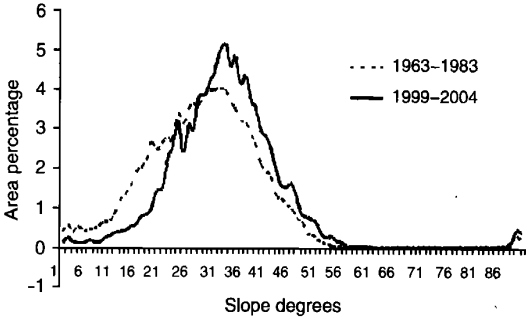


图4c LUCC与坡度的关系
Fig. 4c Relationship between LUCC and slopes
注：平坦/基本平坦(0%~2%)，缓坡(2%~6%)，一般(6%~13%)，一般陡峭(13%~25%)，陡坡(25%~55%)，非常陡峭(>55%)

两个不同的时期内，随着坡度的升高（31% ~ 36%），所发生变化的面积也在增加。这说明在平坦和低谷地区资源利用/变化方面都已达到饱和，如今，人们正向更高的坡度移动以获取所需资源并扩展其生态位/生境。

3.3 土壤侵蚀分析

对这4个时段（1963~ 1983~ 1999~ 2004）的土壤侵蚀分析使用了修订过的Morgan Morgan Finney（MMF）模型。为了便于做比较研究，所有的土地覆盖都被转换为3种类型即森林、灌丛

和农地。对不同年度土壤侵蚀的估算见表4。从表中可以看出，在此4个不同年度期间，土壤侵蚀的面积在不断的增加，其中，增加最明显的是发生在土壤侵蚀等级水平> 40 t/hm²。但是，在土壤侵蚀水平为30~ 40 t/hm²的地方同样呈现轻微的增加趋势。我们可以得出这样的结论，随着时间的推移，更多面积受到土壤侵蚀问题的影响，这主要是由于土地利用/覆盖变化引起的。简而言之，这个地区的土壤侵蚀问题已经显得越来越严重。

表4 不同时期土壤侵蚀状况
Table 4 Soil erosion in different years

土壤侵蚀程度 (t/hm ²)	1963年		1983年		1999年		2004年	
	占总面积的 百分比(%)	面积 (km ²)	占总面积的 百分比(%)	面积 (km ²)	占总面积的 百分比(%)	面积 (km ²)	占总面积的 百分比(%)	面积 (km ²)
< 10	91.27	54.76	88.04	52.82	76.19	45.71	74.7	44.82
10~20	0.51	0.31	2.07	1.24	3.52	2.11	2.28	1.37
20~30	0.48	0.29	0.47	0.28	4.55	2.73	4.39	2.63
30~40	0.49	0.29	0.39	0.23	1.94	1.16	2.88	1.73
> 40	7.26	4.36	9.03	5.42	13.8	8.28	15.74	9.44
总数	100	60	100	60	100	60	100	60

3.4 土壤侵蚀与地形条件的关系

3.4.1 土壤侵蚀与坡度的关系 从图4d中可以看出，从1963年到2004年土壤侵蚀程度明显增加，其中主要有两个侵蚀地带，一个是河岸；另一个是有栎树林的地方，这是人们大量获取薪柴和饲料的地方。然而，低侵蚀带为农地及一些坡度较高，受人为因素干扰较少的森林。早先的研究已经估测了土壤侵蚀程度与区域分布状况的联

系。而在当前的研究中，我们估算了不同坡度类型的土壤侵蚀程度。

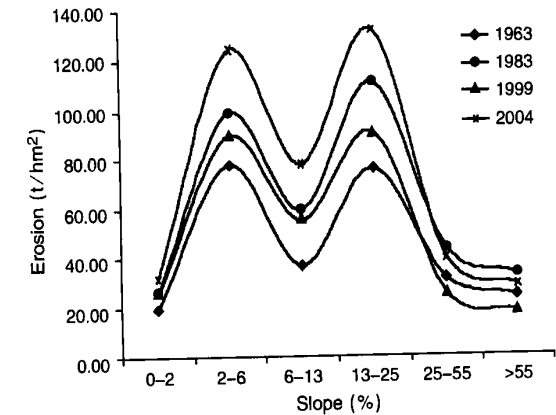


图4d 土壤侵蚀与坡度的关系
Fig. 4d Relationship between soil erosion and slope
注：平坦/基本平坦(0%~ 2%)，缓坡(2%~ 6%)，一般(6%~ 13%)，一般陡峭(13%~ 25%)，陡坡(25%~ 55%)，非常陡峭(> 55%)

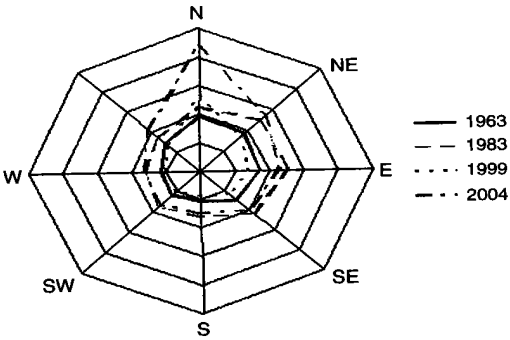


图4e 土壤侵蚀与坡向的关系
Fig. 4e Rate of soil erosion along aspect
注：N—北，NE—东北，E—东，SE—东南，S—南，SW—西南，W—西，NW—西北

3.4.2 土壤侵蚀与坡向的关系 从图4e中我们可以看出1999年的土壤侵蚀呈下降趋势，但是在这4个不同年度中北坡的变化呈逐渐增加的趋势。而土壤侵蚀主要发生在南面的坡向，这可能是由于全年它都受太阳光的照射所以相对暖和，适合植物的生长和人类的生存，而人类活动也相对频繁。

3.4.3 土壤侵蚀与海拔的关系 1963 年时，土壤侵蚀随海拔的变化关系不明显，而在其他 3 个年度中，变化有所发生且其趋势是相似的。在海拔为 1 800~ 2 400 m 的地方分布有浓密喜马拉雅雪杉林，这些林子按政府政策受到保护，因此在这个地带只有少量侵蚀发生。然而，在另外一个海拔带 2 400~ 3 600 m，由于分布有人们高度依赖的用作薪柴和饲料的高山草甸及修剪栎树林，土壤侵蚀程度呈不断的增加趋势（图 4f）。

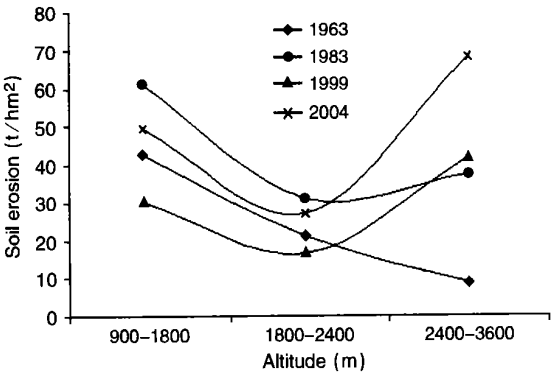


图 4f 土壤侵蚀与海拔的关系

Fig. 4f Relationship between soil erosion and altitude
注：坝区（0~ 600 m），低山（600~ 900 m），中山（900~ 1 800 m），亚高山（1 800~ 2 400 m），高寒山区（2 400~ 3 600 m）

3.5 土壤有机成分分析

土壤有机碳和全氮量在一定程度上反映了土壤环境因子组合的最佳程度（李香真和曲秋皓，2002）。图 4g 表明了不同的土地利用/覆盖类型中土壤有机碳的百分含量，可以看出，林地中的有机碳含量要比非林地类多。可是，草地中几乎含

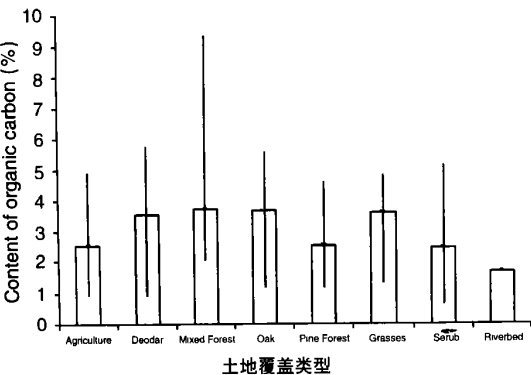


图 4g 不同土地覆盖类型中的有机碳百分含量
Fig. 4g Percentage organic carbon in different land cover classes

有相同百分含量的有机碳。因此可以得出这样的结论，从森林地类到非森林地类（灌丛和农地）的转换同样降低了土壤中的有机碳百分含量，而这是由土壤侵蚀活动/过程所造成的。

4 讨论与建议

4.1 土地利用/覆盖变化是全球环境变化研究的热点，而山区不同土地利用的土壤侵蚀的监测又是环境保护的重要课题。卫星遥感和地理信息系统，以及与土壤侵蚀模型结合可以很好解决山地环境中土地利用/土地覆盖变化及其对土壤侵蚀的影响的时空动态监测。地理信息系统对模拟土壤侵蚀过程是很有帮助的。对该流域而言，土壤侵蚀的模拟结果和土地利用/覆盖变化的影响及资源的利用趋势相吻合，即土地利用/土地覆盖变化活动严重影响了土壤的流失模式和流失量。本研究中土壤侵蚀的模拟是通过一些表列数据及文献资料来完成的，野外对参数的估计可以为侵蚀过程提供真实数值。研究发现，土壤侵蚀等级为 > 30~ 40 t/hm² 和 40 t/hm² 的地方森林覆盖在减少，而侵蚀等级为 < 10 t/hm² 的地方森林覆盖却在增加。在流域中土地利用/土地覆盖变化是影响土壤流失的根本原因。放牧以及对薪柴、饲料和地面凋落物积肥的采集已经影响到森林覆盖。人类活动对环境的影响可以通过地理空间科学的支撑进行定量研究，这类型的研究对自然资源保护和管理有很大帮助。

4.2 Pali Gad 流域和其它喜马拉雅山的流域一样，人们对森林资源的依赖程度很高（Awasthi 等，2003；Joshi 等，2003，2004；Joshi and Gairola，2004）。我们发现在整个流域景观中都出现了森林覆盖的变化，而在靠近人口密度高的居民点的地方破碎化程度更高。在流域的河谷地带几乎没有森林植被的覆盖，而仅仅是些小块的混农林地以及少量栎树林的斑块。在估算土壤侵蚀程度时，我们发现这些地方的侵蚀强度在增加。因此，这些地方应引起有关部门的重视并急需采取合适的措施来恢复森林的覆盖。另外坡度和海拔已不再成为限制人们利用山地植物资源的主要因素。由于人类活动增加引起的山地裸露加快了土壤侵蚀的进程。基于这些研究结果，我们可以得出这样的结论：土地利用/土地覆盖变化对土壤

侵蚀过程有着直接的影响。因此如何为当地人提供可持续发展的生计, 提供相应的薪柴和饲料等的替代方式, 提高农业灌溉设施以提高单位面积农作物的生产力是山地生态系统管理急需解决的问题。

4.3 对地理空间进行模拟有利于我们更好地认识土地利用/土地覆盖变化对各种不同生物物理过程如土壤侵蚀过程所产生的影响。同样, 土壤侵蚀的模拟和估测结果也证实了土地利用/土地覆盖变化所导致的影响及资源利用的趋势。研究表明, 资源利用的热点地区存在严重的土壤侵蚀问题。本研究的不足之一是, 土壤侵蚀的模拟是基于以往的一些图表资料及文献来完成, 由于时间不足, 没能对各指针参数进行野外实地估测, 因此没有获得土壤侵蚀的实际数值。

〔参 考 文 献〕

- Anonymous, 1995. Remote sensing based forest management plan inputs for Sisi forest Division. A joint report of NRSA/KFD, NRSA [Z].
- Awasthi A, Uniyal SK, Rawat GS, *et al.*, 2003. Forest resource availability and its use by the migratory villages of Uttarkashi, Garhwal Himalaya (India) [J]. *Forest Ecology and Management*, **174**: 13—24
- Houghton RA, Hackler JL, Lawrence KT, 1999. The US carbon budget: contributions from land-use change [J]. *Science*, **285**: 574—578
- Joshi PK, Gairola S, 2004. Understanding land cover dynamics in Garhwal Himalayas using geospatial tools: a case study of Bakhila Sub-Watershed [J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, **32** (2): 199—208
- Joshi PK, Das KK, Jamwal AK, *et al.*, 2004. Analyzing land cover dynamics vis-à-vis topography in Huniyal watershed (Garhwal Himalayas) using geospatial tools [J]. *Indian Journal of Forestry*
- Joshi PK, Yang X, Agarwal SP, *et al.*, 2003. Impact of resource utilization in lesser Himalayan watershed-landscape ecological approach for watershed development and planning [J]. *Asian Journal of Geoinformatics*, **3** (4): 1—9
- Kasperson JX, Kasperson RE, Turner II BL, Eds., 1995. Regions at Risk, Comparisons of Threatened Environments [M]. Tokyo: United Nations Univ. Press
- Klerner C, 1995. Alpine Plant Diversity: A Global Survey and Functional Interpretations [A]. In: F. S. Chapin III, C. Klerner eds, Arctic and Alpine Biodiversity: Patterns, Causes and Ecosystem Consequences., Ecological Studies 113 [M]. Berlin: Springer, 45—62
- Li XZ (李香真), Qu QH (曲秋皓), 2002. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in Mongolian grassland [J]. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), **39** (1): 97—104
- Meyer WB, 1995. Past and Present Land-use and Land-cover in the U. S. A. Consequences [Z], 24—33
- Morgan RPC, 1996. Soil Erosion and Conservation, 2nd Edition [M]. Malaysia: Longman, 116—117
- Nityanand, Kamlesh Kumar, 1989. The Holy Himalaya: a Geographical Interpretation of Garhwal [M]. New Delhi: Daya Publishing House, 89—98
- Pant DN, Roy PS, 1995. Analysing forest cover and land use dynamic in Central Himalays using remote sensing and GIS. ISRS Silver Jubilee Year Symposium on remote sensing for environmental Monitoring and Management with Special Emphasis on Hill Regions [Z]. Feb. 22—24, 1995, IIRS, Dehra Dun, 44—52
- Rathore SKS, Singh SP, Singh JS, *et al.*, 1997. Changes in forest cover in Central Himalayan catchments: Inadequacy of assessment based on forest area alone [J]. *Journal of Environmental Management*, **49**: 265—276
- Ravan SA, Roy PS, 1995. Landscape ecological analysis disturbance gradient using geographical information system in Madhav National Park, Madhya Pradesh [J]. *Current Science*, **68** (3): 309—315
- Roy PS, Singh S, Porwal MC, 1993. Characterization of ecological parameters in tropical forest communities-A remote sensing approach [J]. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, **21** (3): 127—149
- Sala OE, Chapin FS, Armesto JJ, *et al.*, 2000. Biodiversity-global biodiversity scenarios for the year 2001 [J]. *Science*, **287**: 1770—1774
- Samant SS, Dhar U, 1997. Diversity, Endemism and Economic Potential of Wild Edible Plants of Indian Himalays [J]. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, **4**: 179—191
- Singh JS, Pandey U, Tiwari AK, 1984. Man and forests: a central Himalayan case study [J]. *Ambio*, **13**: 80—87
- Singh JS, Tiwari AK, Saxena AK, 1985. Himalayan forests: a net source of carbon for atmosphere [J]. *Environmental Conservation*, **12**: 67—69
- Tiwari AK, Saxena AK, Singh JS, 1985. Inventory of forest biomass for Indian Central Himalayan [A]. In: Singh JS edited, Environmental Regeneration in Himalayas: Concepts and Strategies [M]. Nainital, India: Gyanodaya Prakashan
- Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, *et al.*, 1997. Human domination of Earth's ecosystems [J]. *Science*, **277**: 494—9
- Walkley A, Black IA, 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method [J]. *Soil Sci*, **37**: 29—37